

А. В. Желнина^{1, 2*}, А. Г. Илларионов², Е. В. Чухина²

¹ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*avzhelnina@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ ВТОРЫХ ФАЗ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Промышленные титановые сплавы всегда в большей или меньшей степени содержат примеси внедрения, в частности кислород, углерод, азот, обеспечивающие повышение температуры полного полиморфного превращения ($T_{\text{пп}}$) и в целом перехода сплавов в однофазную β -область [1]. Однако исследований по установлению влияния концентраций примесей внедрения на стабильность вторых фаз ранее не проводилось, поэтому в данной статье приведены результаты исследования влияния содержания примесей внедрения на термостабильность вторых фаз.

Ключевые слова: титановые сплавы, примеси, температура полиморфного превращения, термостабильность.

A. V. Zhelnina, A. G. Illarionov, E. V. Chukhina

A STUDY OF THE INFLUENCE OF IMPURITY ON THE THERMAL STABILITY OF THE SECOND PHASES IN INDUSTRIAL TITANIUM ALLOYS

Industrial titanium alloys are always more or less contain interstitial impurities, in particular oxygen, carbon, nitrogen, which provide the β -transus temperature increase and the overall transition to a single β -phase field [1]. However, the study of the effect of interstitial impurity concentrations on second phase stability has not previously carried out, so in this study investigated the interstitial impurities content effect on the second phase thermostability.

Keywords: titanium alloys, impurities, polymorphic transformation temperature, thermostability.

Промышленные титановые сплавы всегда в большей или меньшей степени содержат примеси внедрения, в частности кислород, углерод, азот, которые являются α -стабилизаторами, обеспечивающими повышение температуры полного полиморфного ($\beta \leftrightarrow \alpha$)-превращения ($T_{\text{пп}}$) и в целом перехода сплавов в однофазную β -область [1]. При этом примеси внедрения (углерод, кислород, азот) являются сильными твердорастворными упрочнителями титана [2]. Увеличение вовлекаемых

отходов в плавку приводит к повышению содержания примесей внедрения и уменьшению себестоимости полуфабрикатов. Однако исследований по установлению влияния различных концентраций примесей внедрения на стабильность вторых фаз ранее не проводилось, поэтому целью данной работы является установление влияния содержания примесей внедрения на термостабильность вторых фаз.

Материалом для исследования влияния примесей внедрения на термостабильность вторых фаз служили сплавы Ti–6Al–4V, VST5553, Ti–10V–2Fe–3Al с различным содержанием примесей внедрения.

Исследуемый диапазон концентраций примесей внедрения в сплаве Ti–6Al–4V:

- кислород: 0,18–0,21 масс. %;
- углерод: 0,005–0,05 масс. %;
- азот: 0,001–0,04 масс. %.

При этом повышение содержания примесей внедрения в указанных диапазонах приводит к изменению алюминиевого структурного эквивалента ($Al_{стр.экв.}$) сплава Ti–6Al–4V от 8,6 до 9,5 %.

Исследуемый диапазон концентраций примесей внедрения в сплаве VST5553:

- кислород: 0,15–0,25 масс. %;
- углерод: 0,009–0,03 масс. %;
- азот: 0,004–0,009 масс. %.

При этом повышение содержания примесей внедрения в указанных диапазонах приводит к изменению алюминиевого структурного эквивалента ($Al_{стр.экв.}$) сплава VST5553 от 6,7 до 7,9 %.

Исследуемый диапазон концентраций примесей внедрения в сплаве Ti–10V–2Fe–3Al:

- кислород: 0,10–0,25 масс. %;
- углерод: 0,03–0,04 масс. %;
- азот: 0,004–0,005 масс. %.

При этом повышение содержания примесей внедрения в указанных диапазонах приводит к изменению алюминиевого структурного эквивалента ($Al_{стр.экв.}$) сплава Ti–10V–2Fe–3Al от 4,4 до 5,8 %.

Объемная доля вторых фаз выше температуры начала интенсивного роста β -зерен, оценивалась с помощью оптического микроскопа методом пробных закалок путем подсчета пересечений частиц второй фазы с узлами сетки.

В ходе исследования установлено, что повышение концентрации кислорода в установленных пределах приводит к увеличению стабильности второй фазы, которая сдерживает рост β -зерен, и, соответственно, повышает температуру полиморфного превращения ($T_{пп}$) сплавов в среднем на ~ 50 °C:

- сплав Ti–6Al–4V: с 993 до 1038 °C;

- сплав VST5553: с 858 до 908 °С;
- сплав Ti-10V-2Fe-3Al: с 828 до 893 °С.

В ходе исследования термостабильности вторых фаз установлено, что во всех исследуемых случаях при закалке с температур выше $T_{\text{пп}}$ объемная доля второй фазы составляет ~1 % и менее.

При этом результаты исследования показали, что наибольшей термической стабильностью вторые фазы облают при наибольшем исследуемом содержании углерода и кислорода:

- при 0,04–0,05 масс. % углерода в сплаве Ti-6Al-4V частицы второй фазы стабильны вплоть до $T_{\text{пп}} + 22$ °С;
- при 0,03 масс. % углерода в сплаве VST5553 частицы второй фазы стабильны вплоть до $T_{\text{пп}} + 47$ °С;
- в исследуемых комбинациях химических составов сплава Ti-10V-2Fe-3Al содержание углерода близкое 0,03–0,04 масс. %, единичные частицы второй фазы стабильны вплоть до температур выше $T_{\text{пп}} + 32$ °С.

Влияние кислорода на термостабильность вторых фаз является аналогичным влиянию углерода:

- при 0,2–0,21 масс. % кислорода в сплаве Ti-6Al-4V наблюдается максимальная стабильность частиц до $T_{\text{пп}} + 12$ °С;
- при 0,2–0,25 масс. % кислорода в сплаве VST5553 частицы второй фазы стабильны вплоть до $T_{\text{пп}} + (32–47)$ °С;
- при 0,17–0,25 масс. % кислорода в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al частицы второй фазы стабильны вплоть до $T_{\text{пп}} + 27$ °С.

Комбинации химических составов сплавов с минимальным исследуемым содержанием кислорода и углерода обеспечивают стабильность второй фазы до температуры $T_{\text{пп}} + 7$ °С.

Таким образом установлено, что повышение концентрации примесей внедрения увеличивает термическую стабильность вторых фаз в сплавах Ti-6Al-4V, VST5553, Ti-10V-2Fe-3Al.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М. : ВИС-МАТИ, 2009. 520 с.
2. Цвиккер У. Титан и его сплавы. М. : Мир, 1979. 512 с.